

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Porovnání tří a pětiosého frézování

Comparing the Three and Five-axis Milling

Student:

Michal Kuchař

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Kuchař

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Porovnání tří a pětiosého frézování
Comparing the Three and Five-axis Milling

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Frézování složitých součástí.
3. Problematika pětiosého frézování.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko - ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti KLEIN automotive s.r.o. ve Štítech.

V Ostravě dne 16.5.2016



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16.5.2016



podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lesnice 77

Lesnice

789 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kuchař, M. *Porovnání tří a pětiosého frézování. Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2016, 48 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním technologie tří a pětiosého frézování za účelem zefektivnění obrábění částí lisovacích nástrojů s cílem zefektivnění podpory výroby a snížení nákladů. V úvodu práce jsou popsány informace o podniku KLEIN automotive s.r.o. a obecná problematika tříosého a pětiosého frézování. Další část práce je zaměřena na způsob porovnávání těchto dvou způsobů frézování a popis frézovacích center, na kterých je porovnání provedeno.

Klíčová slova: frézování, tříosé frézování, pětiosé frézování, KLEIN

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KUCHAŘ, M. *Comparing the Three and Five-axis Milling. Bachelor work.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2016, 48 p. Thesis head: Vrba, V.

Bachelor thesis deals with the comparison of three-axis and five-axis milling to streamline production and reduce support costs. The introduction describes the information about the company KLEIN automotive s.r.o. and general issues of three-axis and five-axis milling. Another part focuses on how to compare these two methods of cutting and milling centers and description how the comparison is made.

Keywords: Three-axis, five-axis, milling, KLEIN

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mě provedli danou problematikou a poskytli mi odborné vedení. Především bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. a p. Miroslavu Babištovi z firmy KLEIN automotive, s.r.o.

Obsah

Seznam použitých značek	9
1 Úvod	10
2 Obecná charakteristika daného problému	11
2.1 Úvod do problematiky.....	11
2.2 O firmě KLEIN Automotive	11
3 Frézování složitých součástí	12
3.1 Frézování	12
3.2 Válcové frézování	12
3.3 Čelní frézování.....	14
3.4 Technologické strategie frézování	14
3.5 Orýsování	15
3.6 Frézování tvarovými frézami.....	16
3.7 Frézování pomocí otočného stolu.....	16
3.8 Kopírovací frézování.....	17
3.9 CNC frézování.....	18
4 Problematika pětiosého frézování	19
4.1 Druhy pětiosých center	19
4.2 Výhody obrábění v pěti osách.....	20
4.3 Souvislé obrábění.....	21
5 Diskuze experimentů.....	22
5.1 Popis experimentu	22
5.2 MCFV 1060 NT.....	22
5.3 MIKRON HPM 800U	23
5.4 Součást základací prvek	24
5.4.1 Materiál součásti.....	25
5.4.2 Přípravné operace	25
5.4.3 Technologie výroby na tříosém frézovacím centru.....	26
5.4.4 Výroba na pětiosém frézovacím centru	29
5.5 Součást střížnice.....	31
5.5.1 Materiál střížnice.....	32
5.5.2 Přípravné operace	32
5.5.3 Technologie výroby součásti na tříosém frézovacím centru.....	33
5.5.4 Technologie výroby na pětiosém frézovacím centru	38
6 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	41
6.1 Tříosé frézovací centrum.....	41
6.1.1 Součást základací prvek na tříosém frézovacím centru	41

6.1.2	Součást střížnice na tříosém frézovacím centru	42
6.2	Pětiosé frézovací centrum.....	42
6.2.1	Součást základací prvek na pětiosém frézovacím centru	43
6.2.2	Součást střížnice na pětiosém frézovacím centru.....	43
6.3	Srovnání finanční a časové náročnosti frézování.....	44
7	Závěr.....	45
	Seznam použité literatury	46
	Seznam obrázků	47
	Seznam tabulek.....	48

Seznam použitých značek

CAD - 2D a 3D počítačové projektování, počítačem podporované navrhování

CAM - Počítačová podpora návrhu dráhy nástroje

NC - Číslicové řízení

CNC - Číslicové řízení počítačem

v_c - Řezná rychlost [m/min]

f_z - Posuv na zub [mm/zub]

R - Rádus

RO - Rychlořezná ocel

SK - Slinutý karbid

ŘK - Řezná keramika

1 Úvod

Dnešní požadavky strojírenských firem a jejich zákazníků vedou ke stále větším nárokům na rychlost výroby a zároveň také na kvalitu vyrobených součástí. Tato situace vede k vývoji nových metod obrábění a k racionalizaci metod stávajících. Posledním trendem jsou obráběcí centra, na kterých lze frézovat v pěti osách. Pětiosé frézování rozšiřuje možnosti klasického frézování a oproti frézování ve třech osách poskytuje mnoho výhod. Jedná se především o zvýšení produktivity výroby při zachování nebo zvýšení kvality výroby, minimalizaci výrobních nákladů, provozních nákladů a možnost výroby složitých tvarových ploch, jež by jinak nebylo možné vyrobit.

Téma této bakalářské práce bylo zadáno a umožněno řešit firmou KLEIN automotive s.r.o. zabývající se výrobou dílů pro automobilový průmysl. Tří a pětiosé frézování je v této firmě využíváno především pro výrobu dílů klimatizací, motorů a pro výrobu částí lisovacích nástrojů..

2 Obecná charakteristika daného problému

2.1 Úvod do problematiky

Obrábění tvarově složitých součástí klade velké nároky na obráběcí centra. Klasická tříosá centra jsou v současnosti nahrazována víceosými centry, dovolujícími obrábět tvarově složitě součásti v kratším čase a s menším počtem upnutí. Menší počet upnutí zaručuje snížení rizika vzniku nepřesnosti při opětovném upínání. Díky možnosti plynulého pohybu nástroje ve více osách se pětiosé frézování stává velice efektivním a umožňuje zefektivnění stávající výroby.

2.2 O firmě KLEIN Automotive

Firma KLEIN automotive se zabývá výrobou lisovaných a obráběných dílů pro automobilový průmysl, především pro koncern Volkswagen, avšak výroba dílů probíhá i pro automobilky jako jsou Porsche a Bentley. Vznik firmy se datuje k roku 1994, kdy proběhla privatizace podniku Jesan Štíty. Název společnosti se změnil na Klein & Blažek spol. s.r.o.

Největší oblastí, ve které společnost působí, je výroba součástí technologií lisování za studena. V této oblasti především vyrábí výztuhy karoserií, ale zabývá se i komplexnější výrobou jiných karosářských dílů. Firma je vybavena technologiemi pro konvenční i progresivní lisování na lisech o maximální lisovací síle až 10 000 kN. Produkci karosářských dílů doprovází i technologie svařování. Odporově ale i obloukem se svařují jednoduché spojovací části jako šrouby nebo matice, zároveň se však řeší složité svařovací operace na svařovacích lisech a automatických robotických pracovištích. Společnost se rovněž se zaměřuje na výrobu zadních skupinových světlů pro osobní automobily, výrobu třískově obráběných dílů pro části motorů a výrobu dílů pro klimatizace osobních automobilů.

3 Frézování složitých součástí

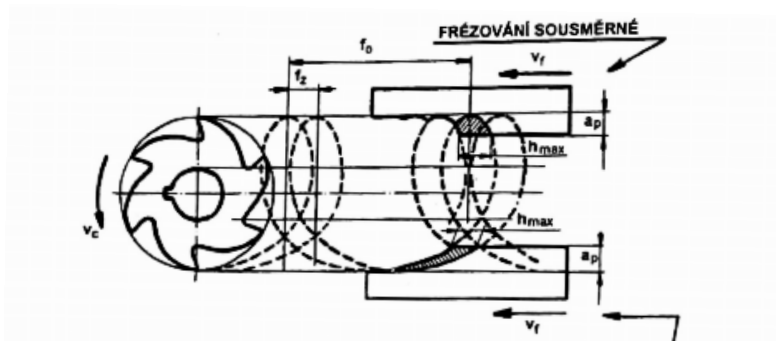
3.1 Frézování

Frézování je metoda třískového obrábění, u kterého probíhá úběr materiálu pomocí vícebřitého nástroje frézy. Nástroj vykonává hlavní řezný pohyb a jedná se o pohyb rotační. Posuv do řezu se realizuje pohybem obrobku, který je upnut na pracovním stole stroje. Stroje pro frézování se nazývají frézky. U tříosého frézování je směr přímočarého posuvného pohybu obrobku většinou kolmý na osu nástroje. U víceosého frézování se však pohyb obrobku nebo nástroje může plynule měnit a nemusí tedy dojít ke kolmosti osy otáčení nástroje s pohybem obrobku. Frézování lze využít pro obrábění hranolovitých tvarů, ale i velmi složitých tvarových ploch či rotačních ploch. Podle směru otáčení nástroje a polohy řezných hran se frézování dělí do tří hlavních skupin:

- Válcové frézování – osa nástroje je na obráběnou plochu rovnoběžná
- Čelní frézování – osa nástroje je na obráběnou plochu kolmá
- Čelní válcové frézování – tento způsob kombinuje čelní a válcové frézování [1]

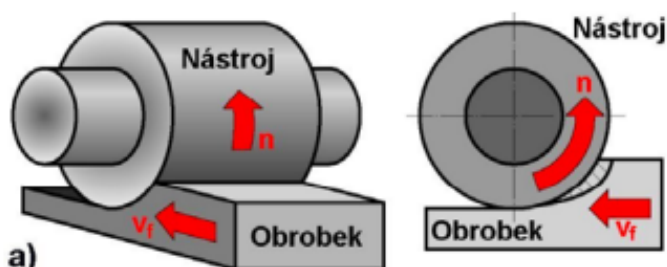
3.2 Válcové frézování

Obráběná plocha při válcovém frézování je rovnoběžná s osou otáčení nástroje. Hloubka řezu se tedy nastavuje v rovině kolmé na osu otáčení nástroje. Frézuje se tvarovými nebo válcovými frézami. Válcové frézování se dále dělí na sousledné a nesousledné, podle toho, jestli se ostří nástroje pohybují proti nebo po směru pohybu obrobku. [2]



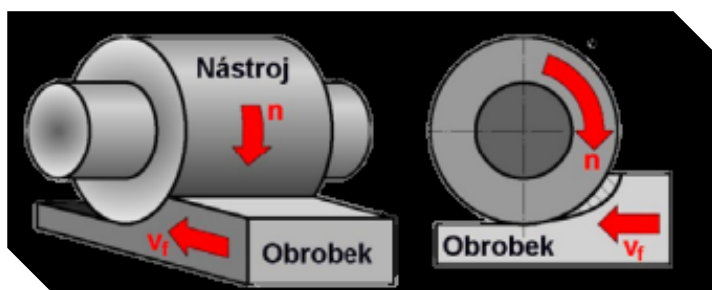
Obr. 1.1: Dráha relativního pohybu nástroje a obrobku [1]

U nesousledného frézování se ostří nástroje pohybuje rotačním pohybem proti směru posuvu obrobku. V prvotní fázi břit nástroje materiál pouze zatlačuje, následně ostří pronikne do materiálu a hodnota tloušťky třísky se postupně zvětšuje od nulové hodnoty až po maximální hloubku třísky, kdy dojde k oddělení třísky od obráběného materiálu. K zatlačení materiálu při vnikání ostří do obrobku dochází především proto, že ostří frézy je ploška o určitém poloměru. Vzhledem vyššímu silovému namáhání nástroje a větším deformacím dochází k většímu opotřebení břitu nástroje a zhoršení jakosti obrobenej plochy. Rovněž se musí brát ohled na směr síly frézování vzhledem k upnutí. [2]



Obr. 1.2: Pohyby nástroje a obrobku - nesousledné frézování [2]

Při sousledném frézování se se ostří nástroje pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se v průběhu pronikání ostří do materiálu mění od maximální tloušťky třísky až po minimální. Oproti nesouslednému frézování je možno použít vyšší posuvy a je potřeba menšího řezného výkonu pro obrábění. Nevýhodou je vyšší silová zátěž zubu. [2]

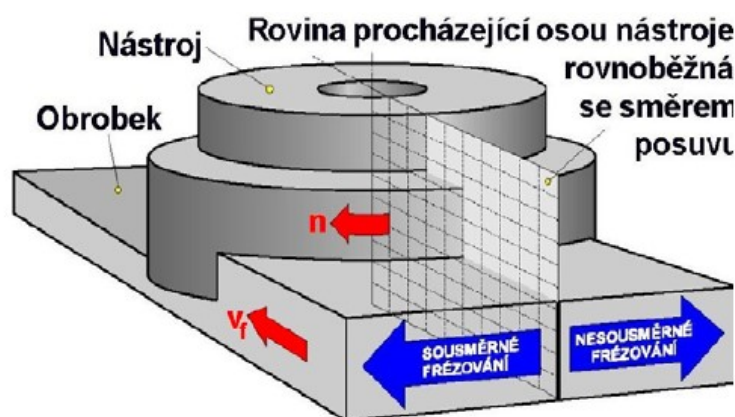


Obr. 1.3: Pohyb nástroje a obrobku - sousledné frézování [2]

3.3 Čelní frézování

Nástroje pro čelní frézování mají břity jak na obvodu frézy, tak i na čele nástroje. V současné době se jedná o nejpoužívanější operaci frézování. U tohoto způsobu by se mělo předejít častému vyjíždění nástroje ze záběru, což by mohlo vést k nadměrnému opotřebení nástroje. Proto se dráha nástroje programuje tak, aby nedocházelo ke zbytečnému vyjetí nástroje ze záběru. V místech, kde tohle není možné, se obvykle snižuje rychlost posuvu o polovinu. Podle otáčení nástroje vzhledem k obráběné ploše se rozlišují dvě metody čelního frézování:

- symetrické frézování – osa nástroje prochází středem frézované plochy,
- nesymetrické frézování – osa nástroje je mimo střed frézované plochy. [2, 3]



Obr. 1.4: Čelní frézování [2]

3.4 Technologické strategie frézování

HSM – vysokorychlostní frézování

Vysokorychlostní frézování používá velké řezné rychlosti, které umožňují docílení velkého úběru materiálu. Velkého úběru materiálu je docíleno právě díky vysoké řezné rychlosti. U této technologie řezná rychlost kompenzuje zejména malé radiální hloubky řezu. Pro tuto technologii jsou typické dva příklady jejího užití a to dokončovací operace u tvrdších obráběných materiálů a velké úběry u materiálů měkkých. [3]

HFM – frézování vysokým posuvem

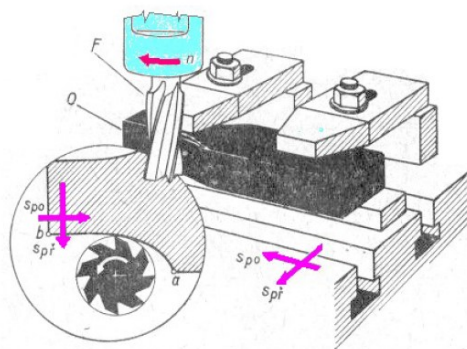
Při vysokoposuvovém frézování je dosaženo velkého úběru materiálu tím, že jsou použity velké až velmi velké posuvy na zub, které jsou také doprovázeny malými axiálními hloubkami řezu a též středními řeznými rychlostmi. Použití této technologie vede v porovnání s jinými technologiemi ke snížení řezných sil a příkonu, směr působení řezných sil na nástroj je příznivější. Radiální zatížení, jemuž je nástroj v průběhu operace vystaven, je tedy nižší, což má za následek snížení možného rizika vzniku negativních jevů jako např. vibrací. Použitím této technologie lze dosáhnout mnohem vyšší produktivity práce při používání štíhlých nástrojů. [3]

HPM – vysoce výkonné frézování

Nastavením maximální axiální a radiální hloubky řezu dosáhneme optimalizace, která má za cíl snížení nákladů v kombinaci s velkými úběry materiálu. Dalším faktorem optimalizace je také výběr vhodných posuvů a řezných rychlostí tak, aby náklady na proces obrábění byly co nejmenší. Tato technologie obrábění, umožňující velké úběry materiálu s vynaložením velmi nízkých nákladů je velmi výhodná, neboť všeobecnou snahou je dosažení maximální produktivity při co nejnižších nákladech. [3]

3.5 Orýsování

Tato technologie nachází uplatnění zejména v kusové výrobě, neboť orýsovaný tvar je možno vyrobit za použití klasických obráběcích nástrojů a standardního upínacího zařízení. Zajištění výsledného pohybu je ruční, realizováno sdružením podélného a příčného posuvu, z čehož vyplývá, že výsledná přesnost frézovaného tvaru a jakost obrobené plochy závisí především na manuální zručnosti obsluhy stroje. [2]



Obr. 2.5: Frézování orýsováním

3.6 Frézování tvarovými frézami

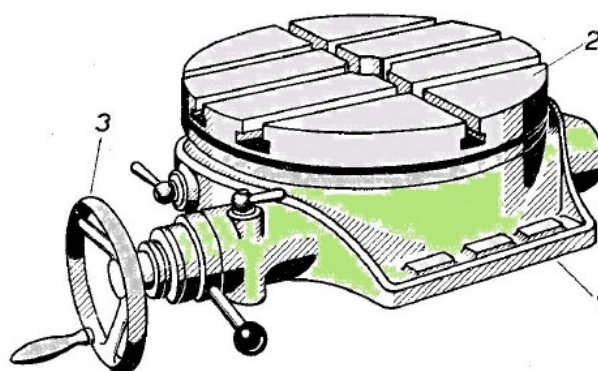
Tvarové frézy se používají většinou při obrábění krátkých, jednodušších tvarových profilů, neboť principem obrábění tvarovou frézou je obrobení celé tvarové plochy najednou, nebo zhotovení jen jeho určité části. Použití takovýchto nástrojů se nejčastěji realizuje v případě obrábění poloměrových zakřivení. [2]



Obr. 2.2: Tvarové frézy

3.7 Frézování pomocí otočného stolu

Otočný stůl se používá při výrobě frézovaných tvarových ploch, jejichž hlavním parametrem je poloměr nebo středový úhel. V otočném stole se nachází upínací drážky sloužící k upnutí obrobků. [2]



Otočný stůl
1 – těleso stolu, 2 – kruhová deska s upínacími drážkami a středním otvorem, 3 – kolečko pro ruční otáčení upínací desky

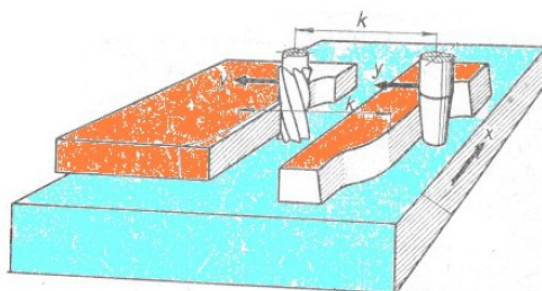
Obr. 2.3: Otočný stůl [1]

3.8 Kopírovací frézování

Frézování kopírováním se používá především v sériové výrobě, např. při výrobě zápusťek, vaček apod.

Obrysové kopírovací frézování

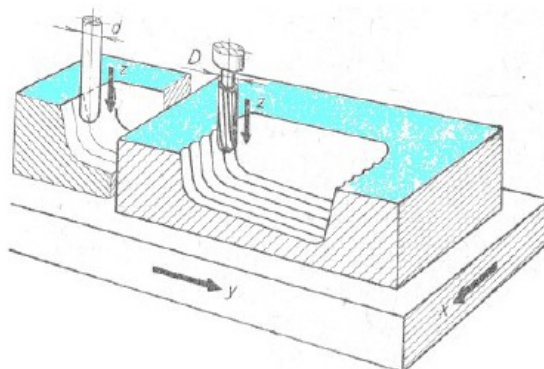
Pohyby nástroje jsou řízeny pomocí dotykového palce, který se pohybuje po ploše šablony a může tak dojít k obrobení potřebného tvaru. Nevýhodou tohoto způsobu je potřebné opotřebení kopírovacího palce a šablony, které má za následek zvětšování nepřesnosti výroby při každém dalším kopírování.



Obr. 2.6: Obrysové kopírovací frézování [1]

Prostorové kopírovací frézování

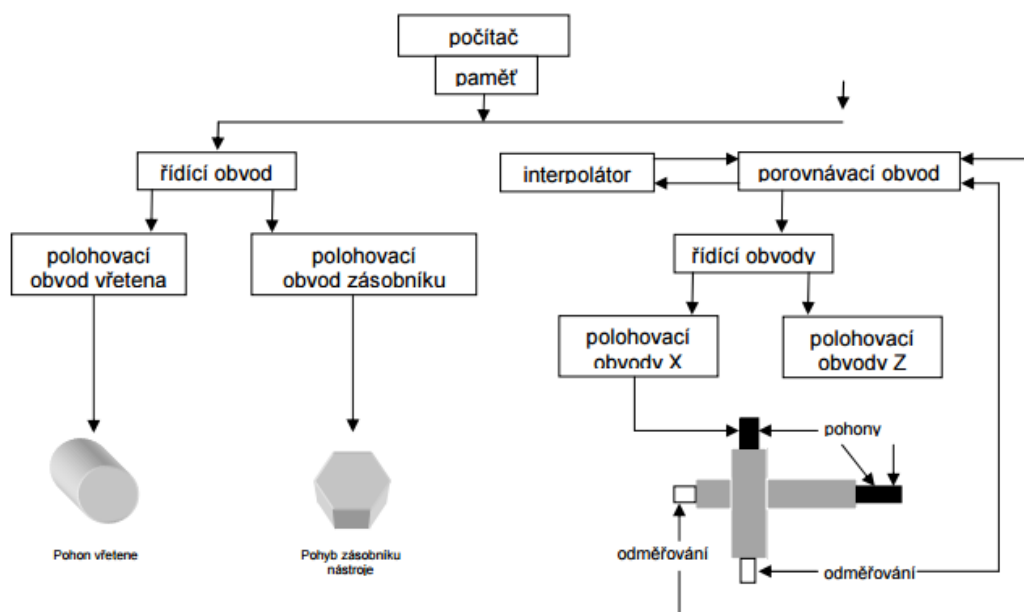
Princip prostorového kopírovacího frézování je velice podobný jako u obrysového, avšak pohyby kopírovacího palce jsou realizován pomocí skládání příčného a podélného pohybu. Vzhledem k tomu, že se palec pohybuje v prostoru, jsou kladeny větší nároky na jeho přitlačení k modelu. Nejčastěji je přitlačován pomocí závaží nebo pružiny.



Obr. 2.5: Prostorové kopírovací frézování [1]

3.9 CNC frézování

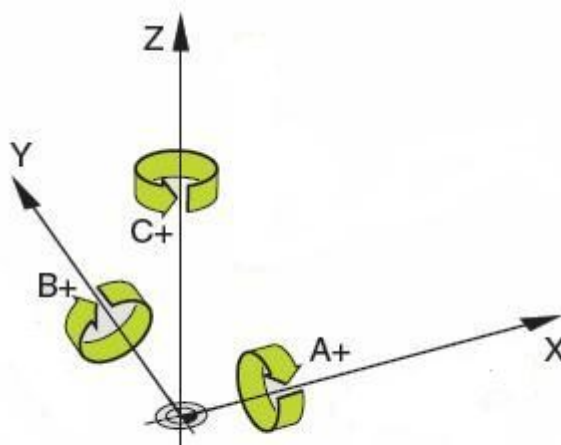
Z hlediska frézování tvarových ploch jsou možnosti dané operací závislé na možnostech řídicího systému stroje. Výroba tvarových ploch může být realizována ve 2d prostoru, nebo také 3d, 4d, 5d, případně někdy i ve více osách. Pohyb nástroje je realizován za použití interpolátoru. Ten přepočítá dráhy v jednotlivých osách a vyvolává impuls do posuvových motorů. Klasické programování užívá ve většině případů kruhové interpolace. Při využití CAD/CAM systémů je dána dráha nástroje výkresem, či modelem dané součásti, což vede k výraznému zjednodušení celého programování. Stroje lze rychle přizpůsobit jiné výrobě obdobného charakteru a pracují v automatizovaných cyklech. Moderní CNC stroje nachází uplatnění ve všech odvětvích strojírenství. Samotný pojem CNC (Computer Numerical Control) znamená: počítačově řízený stroj. [4]



Obr. 2.6: Blokové schéma CNC obráběcího stroje [4]

4 Problematika pětiosého frézování

U klasického frézování se obráběcí pohyby realizují ve třech lineárních osách – X, Y, Z. U frézování pěti osami se k těmto osám přidávají rotační osy A, B a C, které představují otáčení kolem některé z os X, Y nebo Z. K osám lineárním se u pětiosého frézování vždy přidávají dvě osy rotační. Pomocí současného pohybu os lineárních s osami rotačními lze docílit souvislého pohybu nástroje a tím i nepřetržitého kontaktu nástroje s obrobkem. Osa nástroje se může plynule měnit, tím je umožněno obrábět složité tvary, které by jinak bylo nutno obrábět na více upnutích. Toho se využívá ve výrobě složitých a tvarově náročných součástí, jako jsou například lisovací nástroje.



Obr. 4.1: Značení os víceosého obrábění [6]

4.1 Druhy pětiosých center

V závislosti na tom, které rotační osy jsou použity, rozlišujeme tři nejčastější druhy pětiosých frézovacích center:

Hlava – hlava

V tomto případě se pohyb obou rotačních os realizuje obráběcí hlavou – vřetenem. Tohoto řešení se používá převážně u strojů, kde je třeba docílit velkých pojezdů. Vzhledem k tomu, že je hlava stroje pohyblivá, je také méně tuhá, což vede k větším nepřesnostem při obrábění než u ostatních variant. [6]

Hlava - stůl

Hlava stroje se naklápí a rotační pohyb je realizován otočným stolem. Díky rozdělení pohybů mezi hlavu a stůl je dosaženo větší tuhosti než u varianty hlava – hlava. [6]

Stůl – stůl

Rotační pohyby jsou realizovány pracovním stolem, který se otáčí a také naklápí. Výhodou této koncepce je značná tuhost a možnost snadného odjezdu obrobku v jakékoliv fázi obrábění. [6]

4.2 Výhody obrábění v pěti osách

a) Redukce obráběcího času

Většinu součástí lze vyrobit na jedno nebo na dvě upnutí, což zkracuje obráběcí čas a především snižuje finanční náročnost obráběcího procesu.

b) Přesnost obrábění

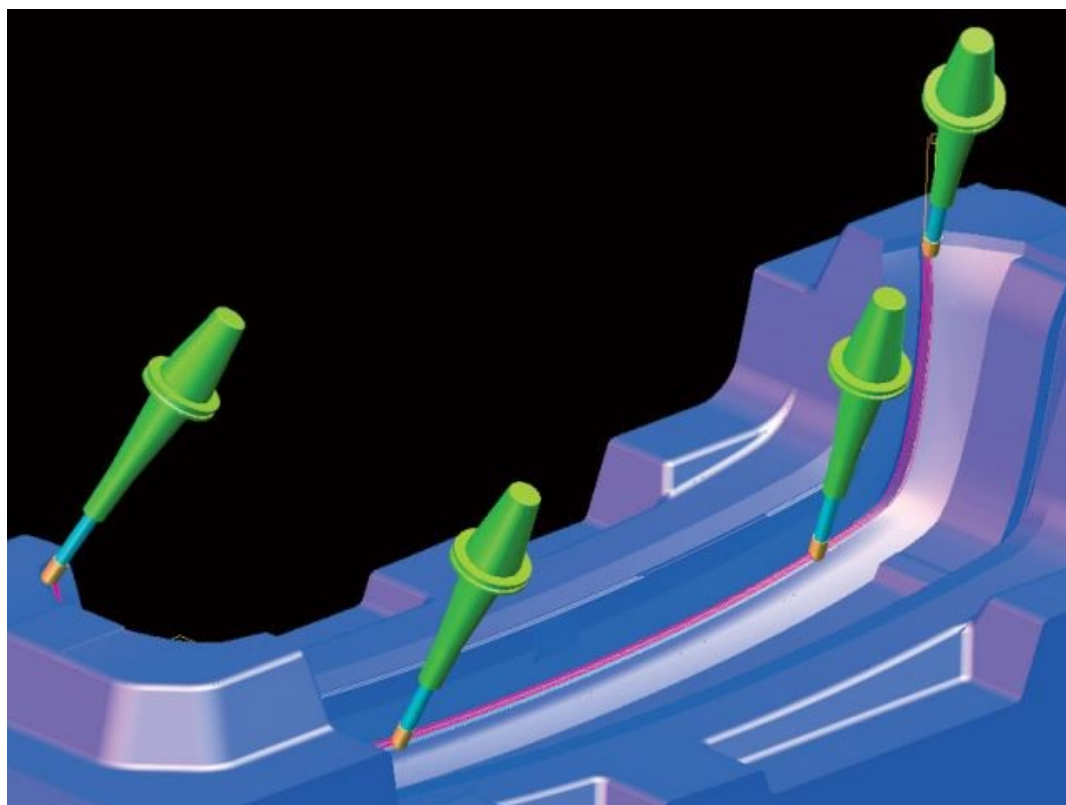
Snížení potřebného počtu upnutí má také vliv na přesnost obrábění, jelikož s každým dalším upnutím vzniká riziko vzniku nepřesnosti.

c) Kvalita obrobeného povrchu

Umožnění naklonění nástroje pod určitým úhlem eliminuje kontakt se špičkou nástroje, která má obvykle nulovou řeznou rychlost. Naklonění nástroje umožňuje použití kratších nástrojů, což snižuje riziko vzniku vibrací, které by měly vliv na kvalitu obráběné plochy. [5]

4.3 Souvislé obrábění

Jedná se o pohyb nástroje současně ve všech osách, tedy lineárních X, Y, Z a dvou z rotačních os A, B nebo C. Možnost souvislého obrábění umožňuje obrábět plochy, které jsou v podkosu bez nutnosti měnit upnutí obrobku, a které by nebylo možné obrobit na tříosých frézovacích centrech. Při souvislém obrábění se osa nástroje mění plynule tak, abychom dosáhli obrobění celého tvaru. U souvislého frézování je nutno použít CAM systém, který generuje NC program pro obrobění požadovaného obrobku. CAM systém by rovněž měl řídit pohyb nástroje tak, aby v místech s možností kolize došlo k automatickému odklonu nástroje. [6]



Obr. 4.2: Souvislé obrábění [7]

5 Diskuze experimentů

5.1 Popis experimentu

Srovnání frézování ve třech a v pěti osách je provedeno na dvou zcela rozdílných součástech, z nichž je každá jinak tvarově náročná a je vyráběna z odlišného materiálu. Každá ze součástí je nejprve obráběna na tříosém frézovacím centru MCFV 1060 NT a následně na pětiosém frézovacím centru MICRON HPM 800U. V experimentu budou zaznamenány odlišnosti ve výrobě při použití víceosého stroje spolu s přípravnými a strojními časy operací a počtem potřebných upnutí.

5.2 MCFV 1060 NT

Multifunkční vertikální tříosé obráběcí centrum MCF 1060 NT je stroj stavebnicové koncepce, jež umožňuje komplexně obrábět součásti jak ploché, nebo skříňového typu. Obráběnými materiály mohou být jak oceli, tak lehké kovy. Polotovar je upnut na pracovním stole. Tento obráběcí stroj umožňuje provádění operací jako je frézování, vrtání, vystružování, nebo závitorezné operace a to ve třech osách X, Y, Z. Řídicím systémem stroje je systém HEIDENHAIN TNC 426 PB, vřeteník stroje je situován v ose Z. Pracovní stůl, tvořící osu X se pohybuje po své dráze ve vedení na křížovém suportu v ose Y.



Obr. 5.1: MCFV 1060 NT

Tabulka 1: Základní parametry stroje MCFV 1060 NT

Pracovní pojezd	Osa X Osa Y Osa Z	1016 mm 610 mm 760 mm
Posuvy	Pracovní posuvy v X, Y, Z (programovatelné až do) Rychloposuv v X, Y, Z	0 – 8 m/min 30 m/min 20 m/min
Pracovní stůl	Pracovní plocha Počet T-drážek x šířka Maximální zatížení	1270 x 590 mm 5 x 18 mm 900 kg

5.3 MIKRON HPM 800U

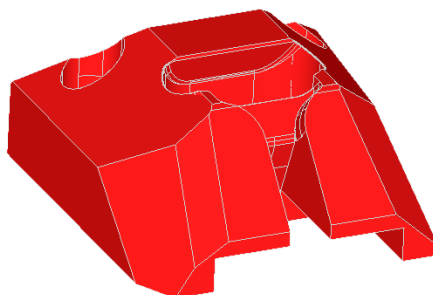
Tento stroj je pětiosým frézovacím centrem, které pracuje v posuvných osách (X, Y, Z), otočné ose A a sklápěcí ose C. Otáčení a sklápění (osy A a C) jsou uskutečněny tak, že je pracovní stůl, který je tvořen odlitkem, otáčen a naklápěn. Vysoká přesnost posuvných pohybů je zaručena díky vhodné konstrukci stroje, což vede k absorpci vzniklých obráběcích a koncentrovaných sil do rámu stroje. Vysoká trvanlivost a dobré řízení jednotlivých pohybů je realizováno pomocí uložení obrobků lineárními vodičky, umístěnými na straně stolu. Toto řešení umožňuje přesné obrábění těžkých obrobků a to i při vysokých obráběcích výkonech. O potřebný tlak v hydraulickém systému pro hydraulické pohony se stará jednotka hydrauliky, hydraulicky ovládané systémy jsou: vřeteno nástroje, systém vyjmutí nástroje, sklápěcí otočný stůl, upínání a uvolnění otočných os A a C. Stroj je vybaven řídicím systémem iTNC 530 2P se dvěma procesory firmy Heidenhain. Tento řídicí systém umožňuje továrně orientované programování v jednoduchém textu Heidenhain a DIN/ISO. Je možný současný provoz, což znamená, že zatímco je jeden obrobek opracováván, následující může být programován.

Tabulka 2: Základní technické parametry stroje MIKRON HPM 800U

Pracovní prostor	Osa X	650 mm
	Osa Y	650 mm
	Osa Z	550 mm
	Osa A	+91° – (121°)
	Osa C	n x 360°
Pohon posunu (osy X, Y, Z)	Maximální posuvová síla	6 kN
	Maximální rychlost posunu	45 m/min
	Zrychlení	6 m/s ²
Zatížení stolu	Při provozu s 5 osami	500 kg
	Při provozu s 3 osami	800 kg
Systémy upínání	Souběžné drážky T	630 x 500 mm
	Drážky T v kruhu	ø500 mm
	Systém pelet	500 x 500 mm

5.4 Součást zakládací prvek

Tato součást je slouží jako zakládací prvek v sestavě přípravku, určeného k upnutí součástí, které budou bodově svařované. Tvar zakládacího prvku musí kopírovat tvar vkládané součásti tak, aby došlo k bezproblémovému osednutí a upnutí součásti v přípravku před samotným svařováním. Vzhledem k tomu, že na součást bude opakovaně přikládáno velké množství výrobků, základním mechanickým požadavkem pro zakládací prvek je především dobrá odolnost proti otěru. Kvůli tepelnému namáhání, působícího na zakládací prvek při svařování, je rovněž žádoucí velmi dobrá rozměrová stálost za vyšších teplot.



Obr. 5.2: Zakládací prvek

5.4.1 Materiál součásti

Součást je vyrobena z oceli ČSN 19 312. Jedná se o nízkolegovanou uhlíkovou nástrojovou ocel. Má velice dobrou odolnost proti opotřebení spolu s velmi dobrou tvárností za studena a dobrou odolností po žíhání. Zpravidla se používá pro výrobu lisovacích nástrojů pro tváření za studena (nástroje pro ohýbání, tažení). Rovněž se z ní zhotovují malé formy pro tváření plastů a pryže. Při tepelném zpracování se vyznačuje dobrou prokalitelností a rozměrovou stálostí.

Tabulka 3: Chemické složení oceli 19 312 v %

C	Si	Mn	P	S	Cr	V
0,85-0,95	0,1-0,4	1,9-2,1	Max. 0,03	Max. 0,03	0,2-0,5	0,05-0,15

5.4.2 Přípravné operace

První operací, vedoucí k vyrobení finálního produktu je řezání materiálu polotovaru na rozměr 88 x 85 x 42mm. Řezání je provedeno kotoučovou pilou a délka strojního času pro tuto operaci je 60 minut. Při řezání je užito chladicí kapaliny pro zvýšení efektivity, zlepšení kvality obrobené plochy a hlavně z důvodu výrazného prodloužení životnosti řezného kotouče.

Čas operace: 60 minut

Následuje druhá přípravná operace, kterou je frézování, má za cíl srovnání ploch na daný rozměr, odstranění nepřesného reliéfu povrchu vzniklého při řezání a dále také zajištění kolmosti ploch pro následné spolehlivé upnutí v průběhu dalších operací. Frézování se uskutečňuje čelní stopkovou frézou. Strojem je manuálně ovládaná frézka.

Čas operace: 90 minut.

Poslední z řady přípravných operací je broušení spodní plochy, čili podstavy, která již nebude v dalším procesu výroby dané součásti dále obráběna a proto je třeba při broušení dosáhnout drsnosti povrchu Ra 0,8, která odpovídá finální drsnosti výrobku. Obrábění výrobku se provádí na kotoučové rovinné brusce vybavené magnetickým upínáním obrobku.

Čas operace: 30 minut.

5.4.3 Technologie výroby na tříosém frézovacím centru

Proces výroby dané součásti na tříosém frézovacím centru je uskutečněn ve čtyřech upnutích za použití šroubovitých vrtáků monolitních, strojních závitníků a stopkových čelních fréz osazených vyměnitelnými břitovým SK destičkami. Operace jsou provedeny na frézovacím CNC centru MCFV 1060 NT.

Tabulka 4: Řezné podmínky frézování součásti základací prvek na tříosém centru

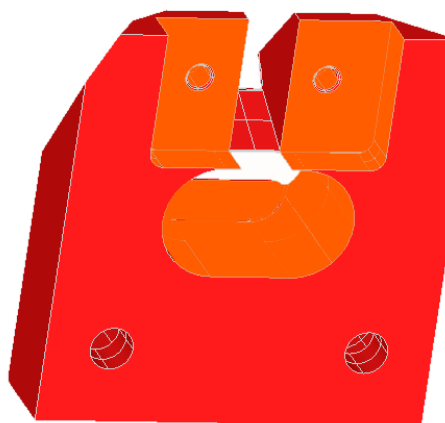
Frézování	Fréza	v_c [m/min]	f_z [mm/zub]
Hrubování	20R5	250	0,3
	15R3,5	250	0,2
Načisto	8R	120	0,09
	12R	120	0,1
	ø5 čelní válcová	120	0,02

První upnutí:

První z řady operací v samotné výrobě výrobku je, po získání připraveného polotovaru a jeho upnutí za připravenou základu, vyvrtání otvorů pro šrouby M6, za použití klasického šroubovitého vrtáku. Pro vyvrtání dvou těchto otvorů následuje frézování frézou POKOLM, které má za cíl vyfrézování první plochy, která je vyobrazena na modelu níže. Následuje vyřezání závitů za pomoci strojního závitníku M6 do příslušné hloubky (12mm). Poslední operací při tomto upnutí je vytvoření odlehčení, které má za cíl snížení přebytečné hmotnosti výrobku pro docílení snazší manipulace a snížení celkové váhy celé sestavy.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 56 minut



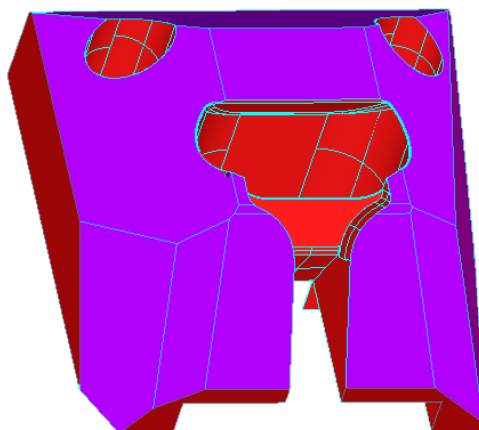
Obr. 5.3: První upnutí

Druhé upnutí:

Pro přeupnutí obrobku, uskutečněného upevněním obrobku za díry, vytvořené v předchozím upnutí, následuje kompletní frézování tvarových ploch na horní straně obrobku, jak je opět znázorněno na modelu níže. Nástroj se oproti předchozí operaci nemění, je ovšem osazen jinými VBD.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 91 minut



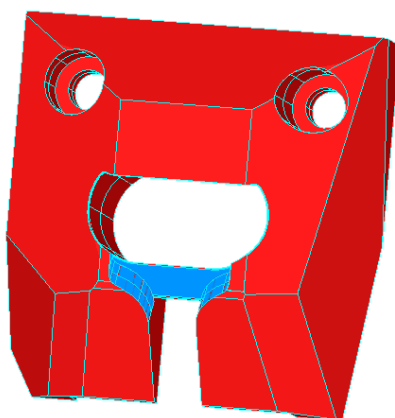
Obr. 5.4: Druhé upnutí

Třetí upnutí:

Po dokončení frézování horní plochy obrobku je obrobek znovu přeupnut pro navrtání pomocného otvoru do boční kolmé plochy, který slouží jako výchozí pro odměřovací kolík, sloužící pro odměřování, od kterého se bude odvíjet obrábění následující šikmé plochy. Díru pro tento kolík je třeba obrobit s docílením přesnosti, odpovídající uložení H (např. H6), čili uložení přechodné, sloužící k zajištění přesnosti následujícího odměření. Následovat tedy bude obrobení šikmé plochy. Provedení této operace je realizováno pomocí odměření od kolíku za účelem přesného nastavení. Do této skloněné plochy je následně ještě vyfrézována tvarová plocha. Nástrojem při této operaci je opět stopková fréza.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 20 minut



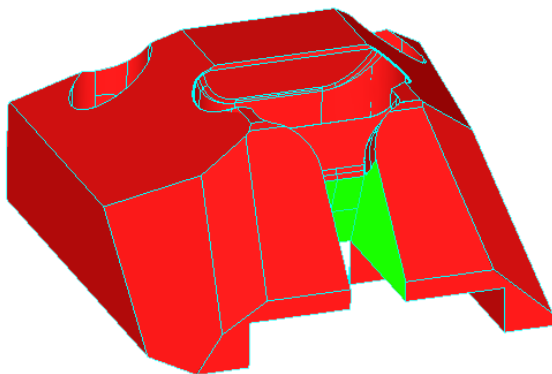
Obr. 5.5: Třetí upnutí

Čtvrté upnutí:

Poslední prováděnou operací při výrobě součásti je frézování šikmé drážky. Pro tuto operaci je nutno upnout součást do univerzálního úhlového svěráku a jeho natočení o hodnotu 28° od svislé osy obrobku. Najetí do základního bodu operace se provádí po odměření dané vzdálenosti vůči výše popsanému odměřovacímu kolíku. Po provedení této operace je výrobek takřka hotový. Následuje pouze již jen strojové nebo ruční sražení horní hrany.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 15 minut



Obr. 5.6: Čtvrté upnutí

5.4.4 Výroba na pětiosém frézovacím centru

Druhou srovnávanou technologií výroby dané součásti je obrábění na pětiosém obráběcím centru, které umožňuje díky možnosti otáčení a naklápění pracovního stolu v otočné ose A a naklápěcí ose C, vyrobit obrobek na méně upnutí než tříosé centrum, což má za následek snížení výrobního času a odstranění nepřesností díky menšímu počtu upnutí. S tím samozřejmě souvisí snížení výrobních nákladů.

Tabulka 5: Řezné podmínky frézování součásti základací prvek na pětiosém centru

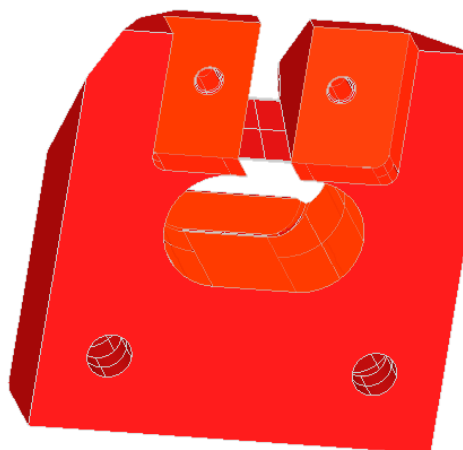
Frézování	Fréza	v_c [m/min]	f_z [mm/zub]
Hrubování	Ø20 čelní válcová	150	0,2
	Ø4 dvoubřítá drážkovací	110	0,3
	Srážecí fréza	230	0,08
	Ø10 čelní válcová	130	0,14
	Ø50 čelní válcová	100	0,2
Na čisto	Ø10 rádiusová	120	0,098
	Ø6 rádiusová	120	0,066
	Ø3 rádiusová	110	0,044

První upnutí:

Při prvním upnutí, jež je realizováno za horní plochu obrobku, válcová fréza, osazená SK destičkami, vyhrubuje první tvarovou plochu, znázorněnou na modelu (Obr. 4.8), kterou následně obrobí na čisto za použití dvoubřité frézy pro dosažení požadované hodnoty zaoblení R3. Následuje vrtání děr a vyvrtání závitu M6. Nástroje, potřebné k provedení daných operací jsou u tohoto obráběcího centra uloženy v zásobníku a výměna jednotlivých obráběcích nástrojů je plně automatická, což přispívá k jejich rychlé a přesné výměně a plynulému průběhu celé operace výroby dané součásti. Následně fréza o průměru 10mm vyfrézuje drážku se zaoblením R12 až k úhlové ploše, jež je od svislé osy obrobku skloněna o hodnotu 28°. Dále probíhá vytvoření úhlové plochy, znázorněné v modelu (Obr. 4.8), jejíž sklon od svislé osy činí 22°.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 40 minut



Obr. 5.7: První upnutí

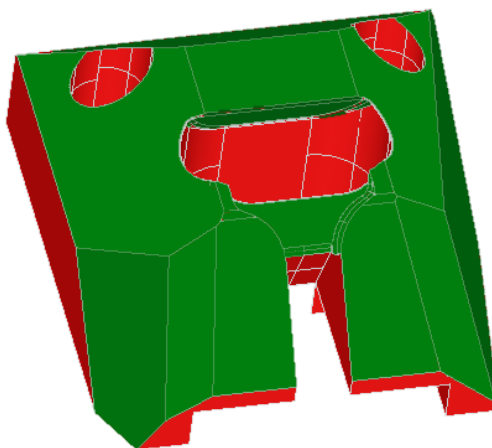
Druhé upnutí:

Druhé upnutí obrobku, spočívá v otočení a upnutí obrobku za spodní hranu, která je u polotovarů pro tuto operaci opatřena přídatkem na upnutí, jež má za cíl umožnit obrobení celého horního reliéfu obrobku v průběhu pouze jednoho upnutí. Operace frézování při druhém upnutí začíná obrobením všech šikmých ploch obrobku sadou válcových fréz (průměry 10, 20 a 50mm). Následuje dokončovací obrábění na šikmé ploše pro obrobení daných zaoblení na požadovanou hodnotu (R2,5mm), které je možno realizovat právě díky výše popsané možnosti naklápění pracovního stolu obráběcího stroje. Další fází výroby

prováděné na obráběcím pětiosém centru je dofrézování drážek s poloměrem R12 za použití frézy o průměru 10 mm. Následně je rádiusovými frézami hrubována a dokončena šikmá plocha, která je od svislé osy o 28° skloněna, dále jsou dokončeny zaoblení R2.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

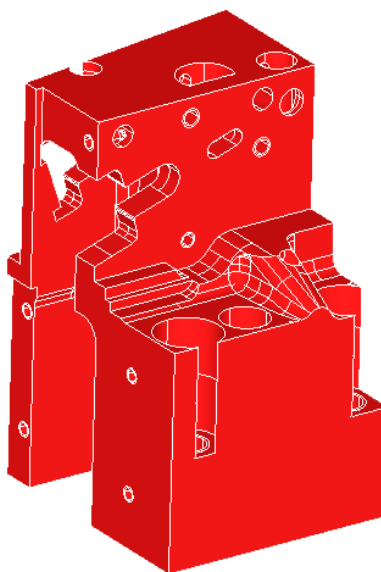
Strojní čas t_{AC} : 85 minut



Obr. 5.8: Druhé upnutí

5.5 Součást střížnice

Tato součást je jednou ze součástí sestavy postupového lisovacího nástroje pro plošné tváření. Jedná se o střížnici vložkovou, jelikož jsou do ní vkládány vložky (tzv. matrice), které jsou vyrobeny z odolnějšího nástrojového materiálu, než těleso samotné střížnice, a jsou vyrobeny s přesností pro vystřížení požadovaného tvaru. Jedná se o výrobně jednodušší řešení z důvodu možné vyměnitelnosti střížných vložek.



Obr. 5.9: Střížnice

5.5.1 Materiál střížnice

Materiálem pro výrobu střížnice je kalená a následně popouštěná nástrojová ocel s obchodním označením TOOLOX 33. I přes tvrdost dosahující 300HB je velice dobře obrobitelná. Oproti podobným ocelím s podobnou tvrdostí, je TOOLOX 33 houževnatější a lépe odolává rázům.

Tabulka 6: Chemické složení oceli TOOLOX 33 v %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	B
0,25	0,6	0,9	0,01	0,004	1,2	0,4	0,7	0,125	0,002

5.5.2 Přípravné operace

Jako první přípravná operace při výrobě dané součásti je vyřezání základního hrubého polotovaru na kotoučové pile podobně, jako tomu bylo v případě první vyráběné součásti, přičemž strojní a nástrojové vybavení používané k této operaci je shodné.

Čas operace: 60 minut.

Následuje operace frézování, jež má opět, podobně jako v případě předchozí součásti, za cíl, vytvořit polotovar přesných rozměrů a dosáhnout rovinnosti ploch a její vzájemné kolmosti. Tato operace se provádí pouze pro výrobu na tříosém frézovacím centru.

Čas operace: 150 minut.

Dokončení přípravných operací probíhá broušením, kdy je polotovar obroben na přesnou požadovanou hodnotu a je docílena požadovaná jakost povrchu, neboť mnohé plochy polotovaru nebudou již později obráběny a musí být tudíž obrobena tak, aby splňovaly vysoké požadavky po stránce rozměrové přesnosti a povrchové jakosti.

Čas operace: 120 minut.

5.5.3 Technologie výroby součásti na tříosém frézovacím centru

Tabulka 7: Řezné podmínky frézování součásti střížnice na tříosém frézovacím centru

Frézování	Fréza	v_c [m/min]	f_z [mm/zub]
Hrubování	15R3,5	250	0,2
	12R	120	0,1
	8R	120	0,09
Na čisto	6R	120	0,065
	ø10 čelní válcová	120	0,03
	ø6 čelní válcová	120	0,025
	ø4 dvoubřitá drážkovací	120	0,02
Na čisto (po kalení)	ø6 rádiusová	40	0,065
	ø8 čelní válcová	40	0,3
	ø6 čelní válcová	40	0,025

První upnutí:

Samotná výroba dané součásti, za použití předem popsaného polotovaru, začíná vyhrubováním níže vyobrazené tvarové plochy (kapsy) a následně jejím dokončovacím obráběním, za použití stopkových, SK destičkami opatřených, fréz. Následně jsou vyvrtány díry, do kterých je poté vyřezán závit M4. Upnutí je v tomto případě realizováno za jednu z bočních rovin polotovaru.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 90 minut



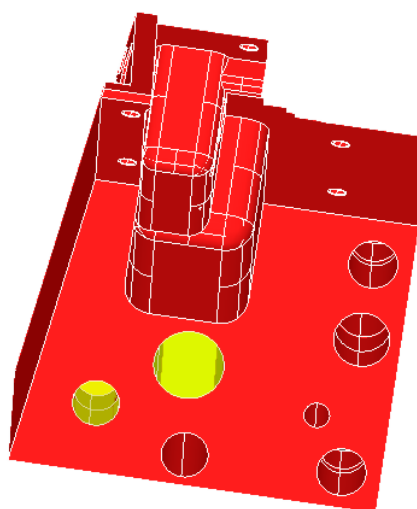
Obr. 5.10: První upnutí

Druhé upnutí:

Po následném otočení a upnutí za horní plochu obrobku je vyvrtána díra o průměru 13mm do příslušné hloubky 60mm. Jako další je zhotovena díra průměru 10mm (hrubování), jež bude po tepelném zpracování vyhotovená v toleranci H7, také za použití stopkové frézy.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 30 minut



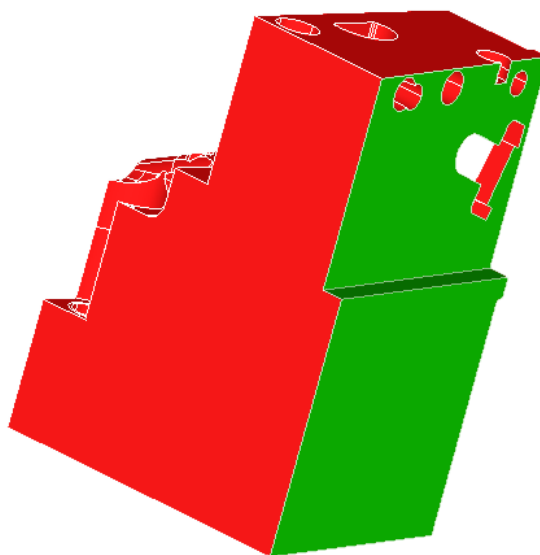
Obr. 5.11: Druhé upnutí

Třetí upnutí:

Následné upnutí je realizováno pomocí univerzálního úhlového svěráku pod úhlem $81,75^\circ$ od svislé osy tak, aby bylo následně možno obrobit nakloněním vzniklou šikmou plochu, znázorněnou na modelu. Poslední operací při tomto upnutí je vyvrtání otvorů, jejichž osa je kolmá na výše zmíněnou šikmou rovinu, o průměrech 4,3 a 8mm do příslušných hloubek.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 60 minut



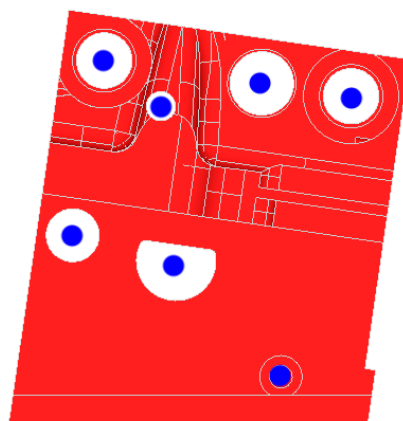
Obr. 5.12: Třetí upnutí

Čtvrté upnutí:

Při čtvrtém upnutí se vrtají startovací díry pro drátové řezání. Vrtá se 7 děr vrtákem o průměru 4 mm (na obrázku označeno modrou barvou).

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 80 minut



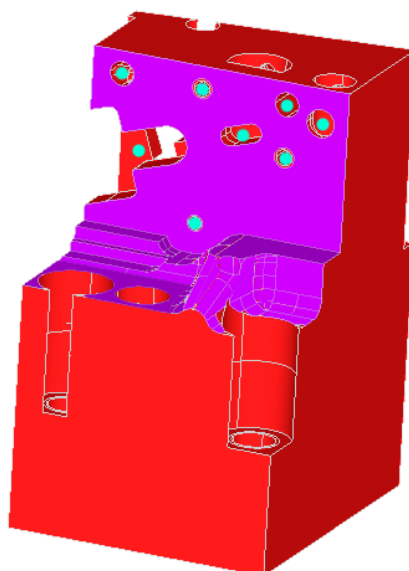
Obr. 5.13: Čtvrté upnutí

Páté upnutí:

Při dalším upnutí jsou vyvrtány 2 díry o průměru 4,2 a jedna o průměru 3,3 mm, do nichž bude následně vyřezán závit M5 (2x) a M4. Následně se vrtá dalších pět otvorů o průměru 4,2 mm, které slouží jako výchozí otvor pro použití metody drátového vyřezávání. Následně je vyfrézována tvarová plocha, vyobrazená na modelu (Obr. 4.15), za použití čelních válcových fréz.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 90 minut



Obr. 5.14: Páté upnutí

Kalení

Po této operaci následuje tepelné zpracování obrobku kalením. Dokončovací práce a výroba přesných otvorů probíhá až po této operaci z důvodu potřeby zhotovení výrobku ve vysokém stupni přesnosti. Operace tepelného zpracování kalením totiž může způsobit změnu přesnosti některých rozměrů, což by při provozu námi vyrobené součásti mohlo způsobovat problémy v podobě nepřesně vyrobených výstřižků, neboť námi vyráběná součást slouží jako střížnice.

Čas operace: 240 minut

Broušení:

Broušení celého kusu tedy, z výše zmíněných důvodů zařazeno až po tepelném zpracování, má za cíl přesné vnější rozměry obrobku a získání předepsané jakosti povrchu. Složité otvory v obrobku budou poté vyrobeny metodou drátového řezání. Jelikož je tato operace zařazena až po broušení a je ovládána číslicově (CNC), musí být nabroušené přesně i ty plochy, které jinak nejsou na výkrese opatřeny tolerovaným rozměrem.

Čas operace: 240 minut

Šesté upnutí:

Při šestém upnutí se dofrézuje otvor 10H7 na požadovanou přesnost. Je k tomu použito čelní válcové frézy o průměru 8 mm.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 30 minut

Drátové řezání:

Poslední operací je drátové řezání složitých, přesných otvorů.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 330 minut

Celkový výrobní čas činí 1660 minut. (všechny operace)

5.5.4 Technologie výroby na pětiosém frézovacím centru

Tabulka 8: Řezné podmínky frézování součásti střížnice na pětiosém centru

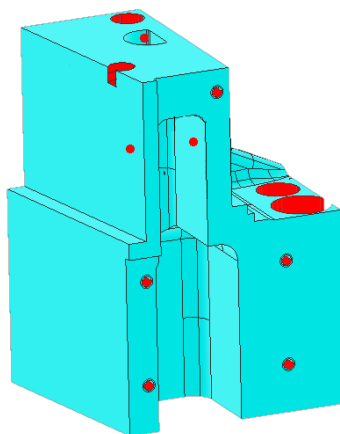
Frézování	Fréza	v_c [m/min]	f_z [mm/zub]
Hrubování	ø50 čelní válcová	100	0,2
	ø20 čelní válcová	150	0,2
	ø12 čelní válcová	130	0,16
	ø8 čelní válcová	130	0,12
	15R3,5	250	0,21
Na čisto	ø6 rádiusová	120	0,066
	ø6 čelní válcová	35	0,025

První upnutí

První upnutí je realizováno na spodní základně, která je už ve fázi řezání navýšena o hodnotu přídavek na upnutí o hodnotě 15mm. Při upnutí je využit právě zmíněný přídavek, přičemž je obrobek o 2mm povysunut nahoru za účelem dobré přístupnosti obráběcích nástrojů v průběhu operace. Při tomto upnutí je hrubován základní vnější tvar obrobku za pomoci válové čelní frézy. Dále je obrobena horní plocha, jež je po operaci řezání navýšena o technologický přídavek. Následně je vyhrubováno vybrání v horní části obrobku, které je znázorněno na modelu. Dalším krokem je obrobení tvarových ploch, jež jsou umístěny právě v prostoru výše popsaného vybrání a jsou taktéž znázorněny na přiloženém modelu (Obr. 4.16). Po vyhotovení tvarové plochy je obrobek naklopen o 90°. Naklopení obrobku je realizováno za pomoci naklápěcího upínacího stolu, na němž je obrobek upnut. Po naklopení je na boční straně vyfrézována tvarová plocha (kapsa). Po provedení této operace je obrobek opět naklopen do pozice, která umožňuje provedení operace vrtání děr do horní strany obrobku, následně jsou zahloubeny díry, znázorněné na modelu (Obr. 4.16), pomocí zahlubovacího vrtáku. A po následném překlopení obrobku na bok jsou do boční plochy obrobku vyvrtány otvory, do kterých je následně vyvrtán závit M4.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 262 minut



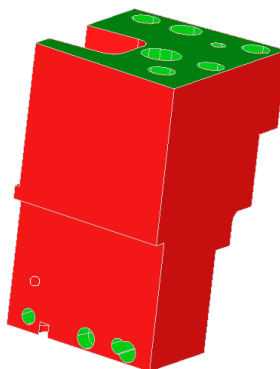
Obr. 5.15: První upnutí

Druhé upnutí

Při druhém upnutí je obrobek otočen a upnut, položen na horní plochu a upínací síla svěráku působí na dvě rovnoběžné boční plochy obrobku. Díky tomu, že spodní strana je nyní otočena do polohy, kdy může být obráběna, je odstraněn přídavek na upnutí, využitý v předchozí operaci s tím, že je však ponechán přídavek na broušení o hodnotě 0,2mm. Následuje vrtání otvorů do spodní strany obrobku a po následném naklopení pracovního stolu jsou vyvrtány díry v šikmé ploše obrobku.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 15 minut



Obr. 5.16: Druhé upnutí

Kalení a broušení

Po provedení výše popsaných operací je obrobek tepelně zpracován pomocí operace kalení, po níž je broušen. Důvody a provedení tohoto zvoleného postupu jsou stejné, jako při obrábění na tříosém obráběcím centru a jsou tedy popsány v předchozí stati práce.

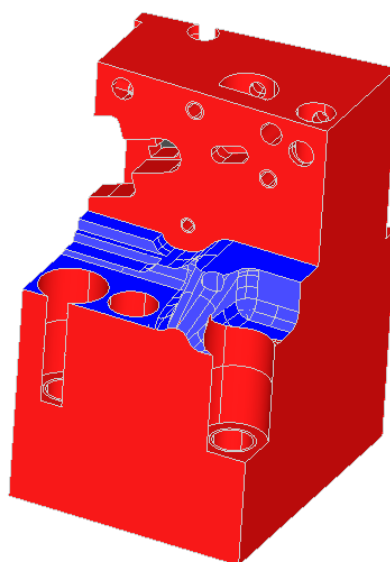
Čas operací: 480 minut

Třetí upnutí

Poslední upnutí při výrobě součásti na pětiosém centru je realizována opět za spodní plochu (základnu) obrobku. Následuje dokončovací obrábění níže znázorněných tvarových ploch pro dosažení jejich předepsané přesnosti a jakosti povrchu, aby výsledný produkt splňoval vysoké požadavky na něho kladené při jeho následném praktickém provozu, při kterém má dodržení přesnosti jeho výroby zásadní vliv na jeho funkci.

Přípravný čas t_{BC} : 20 minut

Strojní čas t_{AC} : 52 minut



Obr. 5.17: Třetí upnutí

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

6.1 Tříosé frézovací centrum

Vzhledem k tomu, že u tříosého centra lze využít pouze osy X, Y a Z, u výroby obou součástí muselo být více upínáno. Vyšší počet upnutí má v praxi negativní dopad na přesnost výroby a výrobní čas součástí. Tyto faktory vedou k větší finanční náročnosti než u pětiosého frézovacího centra.

6.1.1 Součást základací prvek na tříosém frézovacím centru

Tabulka 9: Časová náročnost výroby základacího prvku na tříosém centru

OPERACE	PŘÍPRAVNÝ ČAS	STROJNÍ ČAS
Operace před frézováním	40 minut	140 minut
1. Upnutí	20 minut	56 minut
2. Upnutí	20 minut	91 minut
3. Upnutí	20 minut	20 minut
4. Upnutí	20 minut	15 minut
SOUČET	120 minut	322 minut

Celkový výrobní čas součásti základací prvek na tříosém frézovacím centru činí 442 minut. Během frézování bylo nutno součást 4 krát upnout.

Hodinová sazba stroje MCFV 1060 NT je 550 Kč/hod.

Finanční náročnost frézování součásti základací prvek na tříosém centru tedy činí 2 401,67 Kč.

6.1.2 Součást střížnice na tříosém frézovacím centru

Tabulka 10: Časová náročnost výroby střížnice na tříosém centru

OPERACE	PŘÍPRAVNÝ ČAS	STROJNÍ ČAS
Operace před frézováním	60 minut	270 minut
1. Upnutí	20 minut	90 minut
2. Upnutí	20 minut	30 minut
3. Upnutí	20 minut	60 minut
4. Upnutí	20 minut	80 minut
5. Upnutí	20 minut	90 minut
Kalení	20 minut	220 minut
Broušení	20 minut	220 minut
6. Upnutí	20 minut	30 minut
Drátové řezání	20 minut	330 minut
SOUČET	240 minut	1420 minut

Celkový výrobní čas součásti střížnice činí 1660 minut. Součást se během frézování musela 6 krát upnout.

Hodinová sazba stroje MCFV 1060 NT je 550 Kč.

Finanční náročnost frézování součásti střížnice na tříosém centru tedy činí 4 583,34 Kč.

6.2 Pětiosé frézovací centrum

Výroba obou součástí probíhala mnohem rychleji na pětiosém centru. Snížení výrobních časů má příznivý vliv na finanční náročnost výrobního procesu.

6.2.1 Součást základací prvek na pětiosém frézovacím centru

Tabulka 11: Časová náročnost výroby součásti základací prvek na pětiosém centru

OPERACE	PŘÍPRAVNÝ ČAS	STROJNÍ ČAS
Operace před frézováním	40 minut	140 minut
1. Upnutí	20 minut	40 minut
2. Upnutí	20 minut	85 minut
SOUČET	80 minut	265 minut

Celkový výrobní čas činí 345 minut.

Hodinová sazba stroje MIKRON HPM 800U je 650 Kč.

Frézovací operace výroby základacího prvku na pětiosém centru stojí celkem 1787,5 Kč.

6.2.2 Součást střížnice na pětiosém frézovacím centru

Tabulka 12: Časová náročnost výroby součásti střížnice na pětiosém centru

OPERACE	PŘÍPRAVNÝ ČAS	STROJNÍ ČAS
Operace před frézováním	20 minut	40 minut
1. Upnutí	20 minut	262 minut
2. Upnutí	20 minut	15 minut
Kalení	20 minut	220 minut
Broušení	20 minut	220 minut
3. Upnutí	20 minut	52 minut
Drátové řezání	20 minut	330 minut
SOUČET	140 minut	1 139 minut

Celkový výrobní čas činí 1279 minut.

Hodinová sazba stroje MIKRON HPM 800U je 650 Kč.

Frézovací operace výroby střížnice na pětiosém centru stojí celkem 4214,17 Kč.

6.3 Srovnání finanční a časové náročnosti frézování

Tabulka 13: Srovnání finanční a časové náročnosti frézování

Součást	Technologie frézování	Výrobní čas	Náklady frézování
Zakládací prvek	Třiosé	442 minut	2401,67 Kč
	Pětiosé	345 minut	1787,5 Kč
Střížnice	Třiosé	1660 minut	4583,34 Kč
	Pětiosé	1279 minut	4214,17 Kč

7 Závěr

V práci je popsána základní charakteristika frézování ve třech a v pěti osách, jejich rozdíly spolu s výhodami a nevýhodami každé z metod. Na základě zjištění z experimentů přináší pětiosé frézování zlepšení v podobě rychlejší výroby a s tím spojeným snížením výrobních nákladů. Pětiosé frézování nevyžaduje tolik upnutí jako frézování ve třech osách. To přináší především zlepšení přesnosti výroby spolu s menší finanční náročností výrobního procesu. Obě součásti, na kterých bylo porovnávání provedeno, byly při pětiosém frézování vyrobeny rychleji a s menšími náklady než u tříosého frézování.

Seznam použité literatury

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001, 130 s. ISBN 80-7078-811-9.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II – 2. díl*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 150 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [3] *Znalosti a zkušenosti SANDVIK Coromant* [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/>
- [4] *CNC Příručka* [online]. [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf
- [5] SADÍLEK, M. Strategie frézování naklopeným nástrojem. *MM průmyslové spektrum: rubrika Inovace*. 2005, č. 11. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/strategie-frezovani-naklopenymnastrojem.html>
- [6] APRO, K. *Secrets of 5-axis machining*. New York: Industrial Press, c2009. ISBN 0831133759.
- [7] *MCAE* [online]. 2016 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/>

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Dráha relativního pohybu nástroje a obrobku [1]	12
Obr. 1.2: Pohyby nástroje a obrobku - nesousledné frézování [2]	13
Obr. 1.3: Pohyb nástroje a obrobku - sousledné frézování [2]	13
Obr. 1.4: Čelní frézování [2]	14
Obr. 2.5: Frézování orýsováním	15
Obr. 2.6: Obrysové kopírovací frézování [1]	17
Obr. 3.1: Značení os víceosého obrábění [6]	19
Obr. 3.2: Souvislé obrábění [7]	21
Obr. 4.1: MCFV 1060 NT	22
Obr. 4.2: Zakládací prvek	24
Obr. 4.3: První upnutí	27
Obr. 4.4: Druhé upnutí	27
Obr. 4.5: Třetí upnutí	28
Obr. 4.6: Čtvrté upnutí	29
Obr. 4.7: První upnutí	30
Obr. 4.8: Druhé upnutí	31
Obr. 4.9: Střížnice	31
Obr. 4.10: První upnutí	34
Obr. 4.11: Druhé upnutí	34
Obr. 4.12: Třetí upnutí	35
Obr. 4.13: Čtvrté upnutí	36
Obr. 4.14: Páté upnutí	36

Obr. 4.15: První upnutí.....	39
Obr. 4.16: Druhé upnutí	39
Obr. 4.17: Třetí upnutí.....	40

Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní parametry stroje MCFV 1060 NT.....	23
Tabulka 2: Základní technické parametry stroje MIKRON HPM 800U	24
Tabulka 3: Chemické složení oceli 19 312 v %	25
Tabulka 4: Řezné podmínky frézování součásti zakládací prvek na tříosém centru	26
Tabulka 5: Řezné podmínky frézování součásti zakládací prvek na pětiosém centru ..	29
Tabulka 6: Chemické složení oceli TOOLOX 33 v %	32
Tabulka 7: Řezné podmínky frézování součásti střížnice na tříosém frézovacím centru	33
Tabulka 8: Řezné podmínky frézování součásti střížnice na pětiosém centru.....	38
Tabulka 9: Časová náročnost výroby zakládacího prvku na tříosém centru.....	41
Tabulka 10: Časová náročnost výroby střížnice na tříosém centru.....	42
Tabulka 11: Časová náročnost výroby součásti zakládací prvek na pětiosém centru .	43
Tabulka 12: Časová náročnost výroby součásti střížnice na pětiosém centru.....	43
Tabulka 13: Srovnání finanční a časové náročnosti frézování	44